

располагают диэлектрик, образуя таким образом структуру металл/диэлектрик/полупроводник (metal/insulator/semiconductor, MIS). В структуре MIS применяются high-к диэлектрики, материалы с высокой диэлектрической проницаемостью, позволяющие увеличить емкость затвора, не прибегая к уменьшению его толщины.

Значение работы выхода электронов из металла, расположенного на high-к диэлектрике, отличается от значения, полученного для случая вакуума, что приводит к сдвигу порогового напряжения транзистора. Модель для расчета эффективной работы выхода электронов из металла, основанная на понятии нейтрального уровня диэлектрика, представлена в статье [1].

Для исследования влияния материала подзатворного диэлектрика на пороговое напряжение AlGaIn/GaN MIS-HEMT выбрана структура, состоящая из барьерного слоя  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ , буферного слоя GaN, омических контактов к истоку и стоку, подзатворного диэлектрика и платинового электрода затвора. Моделирование выполнялось в программном комплексе компании Silvaco. Пороговое напряжение транзистора с  $\text{SiO}_2$  в качестве подзатворного диэлектрика составляет  $-2,6$  В, а в случаях с  $\text{HfO}_2$  и  $\text{La}_2\text{O}_3$  равняется  $-1,5$  и  $-1,1$  В, соответственно. Таким образом, величина сдвига порогового напряжения в положительном направлении пропорциональна диэлектрической проницаемости подзатворного материала, которая является единственным значимым параметром в расчетах, и зависит от эффективной работы выхода электронов из металла электрода затвора.

### Литература

1. Yeo, Y.-C. Metal-dielectric band alignment and its implications for metal gate complementary metal-oxide-semiconductor technology / Y.-C. Yeo, T.-J. King, C. Hu // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92, № 12. – P. 7266–7271.

## ПРИМЕНЕНИЕ $\text{La}_2\text{O}_3$ В КАЧЕСТВЕ ПОДЗАТВОРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА MIS-HEMT

В.С. Волчѣк

AlGaIn/GaN транзисторы с высокой подвижностью электронов (high electron mobility transistor, HEMT) являются перспективными элементами сенсорных устройств, используемых в системах информационной безопасности. В стандартной технологии HEMT затвор формируется на основе барьера Шоттки и характеризуется большими токами утечки. Для уменьшения токов утечки транзистора между электродом затвора и барьерным слоем AlGaIn располагают диэлектрик, образуя таким образом структуру металл/диэлектрик/полупроводник (metal/insulator/semiconductor, MIS). В структуре MIS применяются high-к диэлектрики, материалы с высокой диэлектрической проницаемостью, позволяющие увеличить емкость затвора, не прибегая к уменьшению его толщины. Однако, на границе раздела большинства high-к диэлектриков с барьерным слоем AlGaIn формируется положительный связанный заряд, который приводит к сдвигу порогового напряжения транзистора в отрицательном направлении, что затрудняет процесс выключения прибора. Одним из немногих high-к диэлектриков, создающих отрицательный связанный заряд на границе раздела с барьерным слоем AlGaIn, является  $\text{La}_2\text{O}_3$ .

Применение  $\text{La}_2\text{O}_3$  в качестве подзатворного диэлектрика AlGaIn/GaN MIS HEMT позволяет уменьшить ток утечки затвора на три порядка по сравнению с транзистором с затвором Шоттки. Отрицательный связанный заряд, величина которого может регулироваться параметрами технологических процессов, на границе раздела с барьерным слоем AlGaIn приводит к смещению порогового напряжения в положительном направлении, что делает  $\text{La}_2\text{O}_3$  перспективным материалом для создания HEMT с нормально закрытым каналом [1].

### Литература

1. Threshold voltage engineering in GaN-based HEMT by using  $\text{La}_2\text{O}_3$  gate dielectric / M. Minhan [et al.] // Phys. Status Solidi. – 2016. – Vol. 13, № 5–6. – P. 325–327.